



TITLE:

# Studies on Kernel-Based System Identification( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Fujimoto, Yusuke

---

CITATION:

Fujimoto, Yusuke. Studies on Kernel-Based System Identification. 京都大学, 2018, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21214>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開

( 続紙 1 )

京都大学	博士（情報学）	氏名	藤本悠介
論文題目	Studies on Kernel-Based System Identification （カーネルに基づくシステム同定に関する研究）		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、カーネルに基づくシステム同定に関する研究をまとめたものであり、全8章から構成されている。</p> <p>第1章では、序論として研究の背景と目的について述べる。まず、本論文がカーネルに基づくシステム同定に着目する理由を説明する。その後、従来研究を概観し、本論文の目的と各章の内容をまとめている。</p> <p>第2章では、次章以降の準備として、カーネルならびに再生核ヒルベルト空間の定義とそれを用いた回帰問題、およびそのインパルス応答同定問題への適用方法についてまとめる。特に、連続時間・離散時間それぞれの場合の同定手法を説明する。また、正則化最小二乗法としての解釈のみならず、ベイズ推定としての解釈についても説明している。</p> <p>第3章では、連続時間システムの同定に関して、システムの相対次数を考慮にいたしたカーネルの設計方法について議論する。特に、新たなカーネルを提案しているが、これはシステム同定の分野で最もよく使われているTuned-Correlated カーネルの自然な拡張となっている。提案されたカーネルの種々の特性を検討し、システムの相対次数に関する情報が確かにカーネルに埋め込まれていることを確認する。また、数値例によりその有効性を確認している。</p> <p>第4章では、離散時間線形システムの同定を考え、カーネルを用いたシステム同定に特化した入力設計問題について議論する。特に、インパルス応答と観測出力の相互情報量を評価関数として採用し、その有効性について議論している。また、特殊な場合に最適な入力が閉形式で求まることを示す。その後、提案する入力設計方法が同定精度を改善することを、数値例により検証している。</p> <p>第5章では、第4章で扱った相互情報量に基づく入力設計が、線形パラメータ変動システムの同定に対しても有効であることを数値例により検証する。特に検討するのは、同定実験中のスケジューリングパラメータの遷移が既知であり、かつある特定のスケジューリングパラメータでのモデルの精度を上げたいという状況である。観測出力と興味あるスケジューリングパラメータでのインパルス応答の相互情報量を最大化する入力を設計し、ランダム入力に比べ同定精度が改善することを示す。これによ</p>			

り、相互情報量が線形システムのみならず、一部の非線形システムに対しても有用な評価関数であることが確認される。

第6章では、着目するシステムの特性を精度よく同定するための入力設計について議論する。第4章で提案した相互情報量ではこのような問題は扱えないが、ここで提案する手法を用いると、インパルス応答の線形汎関数で与えられるシステム特性の推定誤差を最小化するような入力を設計できる。第4章と同じく、特殊な場合には最適な入力が閉形式で求まることを証明する。また、数値例としてステップ入力に対する過渡・定常応答に着目する場合を考え、提案手法の有効性を確認している。

第7章では、インパルス応答から周波数応答を計算して利用する状況を想定し、ゲインと位相の推定誤差を最小化する入力の設計について議論する。ゲインと位相はインパルス応答の非線形な汎関数であり、第6章で提案した方法を直接適用することはできない。周波数領域での座標変換および周辺化を援用し、この問題に対処する方法を与える。特に、一般の場合に利用できるオンライン入力設計法と、特殊な場合に利用できるオフライン入力設計法の二つを提案する。数値例により、二つの提案入力が共に有効であることを確認している。特に、システム同定において良い入力の一つとされる二値白色信号より高い同定精度を与えることを確認している。

第8章では、結論として、本論文で検討した問題と得られた成果を要約し、今後の課題について述べている。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(論文審査の結果の要旨)

動的システムを対象とするシステム制御分野において、入出力データからのモデリングはシステム同定と呼ばれるが、その主要な難しさは、モデルの複雑さとデータへの適合度のバランスを適切に調整する点にある。この問題に対処する新たな方法として、カーネルに基づくシステム同定法が提案され近年注目を集めている。本論文はこのカーネルに基づくシステム同定法に関する研究をまとめたものであり、以下の成果を得ている。

(1) 線形動的システムの代表的な特性の一つとして、相対次数が挙げられる。これはインパルス応答の滑らかさに関わる特性であるが、これが既知である場合にどのようにカーネルを設計すべきか明らかでなかった。そこで本論文では相対次数情報をカーネルに適切に組み込む方法を示した。提案されたカーネルは、システム同定においてよく知られたカーネルの一つであるTuned-Correlated カーネルを特殊な場合として含むものとなっている。

(2) システム同定において、入出力データを取得する際にどのような入力を用いるのかは最終的なモデルの精度に大きく影響する。しかし、カーネルに基づくシステム同定法に適した入力設計方法については、これまで議論されてこなかった。本論文では、主に線形システムを対象として、カーネルに組み込まれた事前知識を利用した入力設計方法を提案している。まず、同定実験で得られる情報の量を相互情報量によって測り、これを最大化することにより、カーネル（事前知識）に含まれない特性を励起する入力を得る手法を提案している。また、モデルの使用目的に応じた入力設計方法、およびシステムの制御において重要になる周波数特性の精度を向上させる入力設計法について提案した。これらの手法の有効性を詳細な数値例により検証している。

以上要するに、本論文はカーネルに基づくシステム同定手法に関して有用な結果を得たものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年2月20日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨（例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」）を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。  
要旨公開可能日： 年 月 日以降